

# МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

**Рекомендация МСЭ-R ВТ.2100-2**  
(07/2018)

**Значения параметров изображений  
для систем телевидения большого  
динамического диапазона  
для использования в производстве  
программ и международном обмене ими**

**Серия ВТ**  
**Радиовещательная служба**  
**(телевизионная)**



## Предисловие

Роль Сектора радиосвязи заключается в обеспечении рационального, справедливого, эффективного и экономичного использования радиочастотного спектра всеми службами радиосвязи, включая спутниковые службы, и проведении в неограниченном частотном диапазоне исследований, на основании которых принимаются Рекомендации.

Всемирные и региональные конференции радиосвязи и ассамблеи радиосвязи при поддержке исследовательских комиссий выполняют регламентарную и политическую функции Сектора радиосвязи.

## Политика в области прав интеллектуальной собственности (ПИС)

Политика МСЭ-R в области ПИС излагается в общей патентной политике МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК, упоминаемой в Резолюции МСЭ-R 1. Формы, которые владельцам патентов следует использовать для представления патентных заявлений и деклараций о лицензировании, представлены по адресу: <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/ru>, где также содержатся Руководящие принципы по выполнению общей патентной политики МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК и база данных патентной информации МСЭ-R.

### Серии Рекомендаций МСЭ-R

(Представлены также в онлайн-форме по адресу: <http://www.itu.int/publ/R-REC/ru>.)

Серия	Название
BO	Спутниковое радиовещание
BR	Запись для производства, архивирования и воспроизведения; пленки для телевидения
BS	Радиовещательная служба (звуковая)
<b>BT</b>	<b>Радиовещательная служба (телевизионная)</b>
F	Фиксированная служба
M	Подвижные службы, служба радиоопределения, любительская служба и относящиеся к ним спутниковые службы
P	Распространение радиоволн
RA	Радиоастрономия
RS	Системы дистанционного зондирования
S	Фиксированная спутниковая служба
SA	Космические применения и метеорология
SF	Совместное использование частот и координация между системами фиксированной спутниковой службы и фиксированной службы
SM	Управление использованием спектра
SNG	Спутниковый сбор новостей
TF	Передача сигналов времени и эталонных частот
V	Словарь и связанные с ним вопросы

**Примечание.** – Настоящая Рекомендация МСЭ-R утверждена на английском языке в соответствии с процедурой, изложенной в Резолюции МСЭ-R 1.

Электронная публикация  
Женева, 2023 г.

© ITU 2023

Все права сохранены. Ни одна из частей данной публикации не может быть воспроизведена с помощью каких бы то ни было средств без предварительного письменного разрешения МСЭ.

## РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R ВТ.2100-2\*

**Значения параметров изображений для систем телевидения большого динамического диапазона для использования в производстве программ и международном обмене ими<sup>1</sup>**

Вопрос МСЭ-R 142-2/6

(2016-2017-2018)

## СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Приложение 1 (информационное) – Соотношение между OETF, EOTF и OOTF .....	11
Приложение 2 (информационное) – Параметрическое представление функций электронно-оптического и оптоэлектронного преобразования.....	14

**Сфера применения**

Телевидение большого динамического диапазона (HDR-TV) предоставляет зрителям возможность просматривать программы с повышенным качеством изображения, которое корректно воспроизводится на устройствах с повышенной яркостью экрана, обеспечивая гораздо более яркие светлые участки и улучшенную прорисовку деталей на темных участках. В этой Рекомендации указаны параметры изображения HDR-TV для производства программ и международного обмена ими с применением методов перцептивного квантования (PQ) и гибридной гамма-логарифмической коррекции (HLG).

**Ключевые слова**

Большой динамический диапазон, HDR, телевидение, HDR-TV, параметры системы изображения, производство телепрограмм, международный обмен программами, широкая цветовая гамма, перцептивное квантование, PQ, гибридная гамма-логарифмическая коррекция, HLG.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

*учитывая,*

- a) что в Рекомендациях МСЭ-R ВТ.709 и МСЭ-R ВТ.2020 определены форматы изображения цифрового телевидения высокой четкости (ТВЧ) и сверхвысокой четкости (ТСВЧ);
- b) что эти форматы телевизионного изображения ограничены динамическим диапазоном, который они могут обеспечить в силу их зависимости от характеристик устаревших электронно-лучевых трубок (ЭЛТ), которые ограничивают яркость изображения и его детализацию на темных участках;
- c) что современные дисплеи способны воспроизводить изображения большей яркости, с большим коэффициентом контрастности и более широкой цветовой гаммой, чем при традиционном производстве программ;

\* В 2018, 2019, 2020 и 2023 годах 6-я Исследовательская комиссия по радиосвязи внесла поправки редакционного характера в настоящую Рекомендацию в соответствии с Резолюцией МСЭ-R 1.

<sup>1</sup> Значения параметров, приведенные в этом документе, следует сравнить со значениями из ранее опубликованной версии настоящей Рекомендации.

- d) что зрители ожидают от будущих ТВ-систем улучшенных характеристик по сравнению с современными системами ТВЧ и ТСВЧ в плане более реалистичных ощущений, меньших отличий от реального мира и более точной передачи визуальной информации;
- e) что при просмотре телевизионных изображений с большим динамическим диапазоном (HDR-TV), как было показано, зрители получают более приятные ощущения;
- f) что HDR-TV обеспечивает радикальное улучшение качества изображения благодаря значительному усилению яркости и детализации светлых участков и рассеянию отражения от объектов, гарантируя при этом улучшенную детализацию на темных участках;
- g) что сочетание расширенного динамического диапазона и расширенной цветовой гаммы обеспечивает значительно большую интенсивность цвета HDR-TV;
- h) что форматы изображения HDR-TV должны в соответствующих случаях иметь определенную степень совместимости с существующими рабочими процессами и инфраструктурой радиовещательных организаций;
- i) что для форматов HDR-TV следует определить эталонную среду просмотра, включая параметры изображения,

*учитывая далее,*

что в силу быстрого развития технологии HDR МСЭ, возможно, пожелает рассмотреть ранние обновления и усовершенствования этой Рекомендации,

*признавая,*

что Отчет МСЭ-R ВТ.2390 содержит много информации о двух методах достижения HDR-TV,

*рекомендует*

использовать для производства программ HDR-TV и международного обмена этими программами спецификации перцептивного квантования (PQ) и гибридной гамма-логарифмической коррекции (HLG), описанные в настоящей Рекомендации.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Спецификация PQ обеспечивает весьма широкий диапазон уровней яркости для данной битовой глубины с использованием функции нелинейного преобразования, точно настроенной в соответствии со зрительной системой человека. Спецификация HLG обеспечивает определенную степень совместимости с используемыми дисплеями благодаря более точному соответствию ранее установленным кривым преобразования телевизионных сигналов. Дополнительные сведения о значениях PQ и HLG, преобразовании между ними и совместимости с предыдущими системами содержатся в Отчете МСЭ-R ВТ.2390.

ТАБЛИЦА 1

## Пространственно-временные характеристики изображения

Параметр	Значения
Форма контейнера <sup>1a</sup> изображения	16 : 9
Число пикселей контейнера <sup>1b</sup> по горизонтали и вертикали	7 680 × 4 320 3 840 × 2 160 1 920 × 1 080
Решетка дискретизации	Ортогональная
Формат пикселей	1 : 1 (квадратные пиксели)
Адресация пикселей	Порядок следования пикселей в каждом ряду – слева направо, расположение рядов – сверху вниз
Частота кадров (Гц)	120; 120/1,001; 100; 60; 60/1,001; 50; 30; 30/1,001; 25; 24; 24/1,001
Формат изображения	Построчный

Примечание 1a. – Контейнер используется для определения границ формата изображения по горизонтали и вертикали.

Примечание 1b. – При производстве программ следует использовать формат изображения с самым высоким практически целесообразным разрешением. Известно, что во многих случаях программы с изображением высокого разрешения в целях распространения преобразуются с использованием понижающей дискретизации в форматы с более низким разрешением. Также известно, что при производстве в формате повышенного разрешения с последующим электронным заглублением в целях распространения получается изображение лучшего качества, чем при производстве с разрешением, используемым для распространения.

ТАБЛИЦА 2

## Колориметрия системы

Параметр		Значения		
		Оптический спектр (информативный)	Координаты цветности (CIE, 1931)	
			x	y
Первичные цвета	Первичный красный (R)	Монохромный 630 нм	0,708	0,292
	Первичный зеленый (G)	Монохромный 532 нм	0,170	0,797
	Первичный синий (B)	Монохромный 467 нм	0,131	0,046
Опорный уровень белого		D65 по ISO 11664-2:2007	0,3127	0,3290
Функции согласования цветов		CIE, 1931		

В таблице 3 приведены параметры эталонной среды просмотра для оценки программного материала или готовых программ HDR, способной обеспечить повторяемые результаты при просмотре одного и того же материала в разных системах. Структуры, занимающиеся редактированием, цветовой коррекцией, демонстрацией и т. д., могут и будут впредь создавать самые разные системы просмотра, и спецификации, приведенные в этой таблице, не предполагают необходимости полного единообразия таких систем.

ТАБЛИЦА 3

## Эталонная среда просмотра для критического просмотра материала HDR-программ

Параметр	Значения
Окружение и периферия <sup>3a</sup>	Нейтральный серый, D65
Яркость окружения	5 кд/м <sup>2</sup>
Яркость периферии	≤ 5 кд/м <sup>2</sup>
Внешнее освещение	Без прямого попадания света на экран
Расстояние просмотра <sup>3b</sup>	Для формата 1 920 × 1 080 – 3,2 высоты изображения Для формата 3 840 × 2 160 – 1,6–3,2 высоты изображения Для формата 7 680 × 4 320 – 0,8–3,2 высоты изображения
Пиковая яркость экрана <sup>3c</sup>	≥ 1 000 кд/м <sup>2</sup>
Минимальная яркость экрана (уровень черного <sup>3d</sup> )	≤ 0,005 кд/м <sup>2</sup>

Примечание 3a. – "Окружение" – это область, окружающая дисплей, которая может повлиять на адаптацию глаз, обычно стена или занавеска за дисплеем; "периферия" – это остальная среда за пределами окружения.

Примечание 3b. – Когда при оценке изображения учитывается оптическое разрешение, следует использовать наименьшие значения расстояния просмотра. Если оптическое разрешение не оценивается, можно использовать любое расстояние просмотра в указанном диапазоне.

Примечание 3c. – Это не означает, что такой уровень яркости должен достигаться на всем белом экране, – только на небольших светлых участках.

Примечание 3d. – Для PQ при условиях просмотра, отличных от эталонных, или для HLG (при любых условиях просмотра) уровень черного корректируется с помощью тестового сигнала PLUGE и процедуры, описанной в Рекомендации МСЭ-R ВТ.814.

В таблицах 4 и 5 описаны функции преобразования соответственно для форматов PQ и HLG. Система производства телевизионных программ с большим динамическим диапазоном и устройство отображения должны согласованно использовать функции преобразования той или иной системы и не смешивать их. Информационное Приложение 1 иллюстрирует смысл различных функций преобразования и их место в цепочке преобразований сигнала. В информационном Приложении 2 содержится информация о других уравнениях, которые могут способствовать реализации этих функций преобразования.

ТАБЛИЦА 4

## Эталонные функции нелинейного преобразования системы PQ

Параметр	Значения
Входной сигнал PQ функции электронно-оптического преобразования (ЕОТФ)	Кодированное значение нелинейного сигнала PQ. ЕОТФ преобразует нелинейный сигнал PQ в яркость изображения
Эталонная функция ЕОТФ для PQ <sup>4a</sup>	$F_D = \text{ЕОТФ}[E'] = 10000 Y;$ $Y = \left( \frac{\max\left[\left(E'^{1/m_2} - c_1\right), 0\right]}{c_2 - c_3 E'^{1/m_2}} \right)^{1/m_1},$ <p>где:  <math>E'</math> – нелинейное значение цвета <math>\{R', G', B'\}</math> или <math>\{L', M', S'\}</math> в пространстве PQ в диапазоне <math>[0 : 1]</math>;  <math>F_D</math> – яркость отображаемого линейного компонента<sup>4b</sup> <math>\{R_D, G_D, B_D\}</math>, или <math>Y_D</math>, или <math>I_D</math> в кд/м<sup>2</sup>.  <math>Y</math> – нормализованное линейное значение цвета в диапазоне <math>[0 : 1]</math>.  <math>m_1 = 2\ 610/16\ 384 = 0,1593017578125</math>;  <math>m_2 = 2\ 523/4\ 096 \times 128 = 78,84375</math>;  <math>c_1 = 3\ 424/4\ 096 = 0,8359375 = c_3 - c_2 + 1</math>;  <math>c_2 = 2\ 413/4\ 096 \times 32 = 18,8515625</math>;  <math>c_3 = 2\ 392/4\ 096 \times 32 = 18,6875</math></p>
Входной сигнал PQ функции оптоэлектронного преобразования (ООТФ)	Линейная яркость объекта съемки. ООТФ преобразует относительную линейную яркость объекта съемки в линейную яркость изображения
Эталонная функция ООТФ для PQ	$F_D = \text{ООТФ}[E] = G_{1886} [G_{709}[E]],$ <p>где:  <math>E = \{R_S, G_S, B_S, Y_S \text{ или } I_S\}</math> сигнал, определяемый яркостью объекта съемки и масштабируемый экспозицией камеры.  Значения <math>E, R_S, G_S, B_S, Y_S, I_S</math> находятся в диапазоне <math>[0:1]</math><sup>4c</sup>.  <math>E'</math> – нелинейное представление <math>E</math>;  <math>F_D</math> – яркость отображаемого линейного компонента (<math>R_D, G_D, B_D, Y_D</math>, или <math>I_D</math>).  <math>F_D = G_{1886} [G_{709}[E]] = G_{1886} E'</math>;  <math>E' = G_{709}[E] = 1,099 (59,5208 E)^{0,45} - 0,099</math> для <math>1 \geq E &gt; 0,0003024</math>;  <math>= 267,84 E</math> для <math>0,0003024 \geq E \geq 0</math>;  <math>F_D = G_{1886}[E'] = 100 E'^{2,4}</math></p>
Входной сигнал PQ функции оптоэлектронного преобразования (ОЕТФ)	Линейная яркость объекта съемки. ОЕТФ преобразует относительную линейную яркость объекта съемки в нелинейное значение сигнала PQ

ТАБЛИЦА 4 (окончание)

Параметр	Значения
Эталонная функция ОETF для PQ. Использование этой функции ОETF приводит к эталонной ООТФ при отображении на эталонном мониторе, использующем эталонную ЕОТФ	$E' = \text{OETF}[E] = \text{EOTF}^{-1}[\text{ООТФ}[E]] = \text{EOTF}^{-1}[F_D],$ <p>где:</p> $\text{EOTF}^{-1}[F_D] = \left( \frac{c_1 + c_2 Y^{m_1}}{1 + c_3 Y^{m_1}} \right)^{m_2};$ $Y = F_D / 10\,000;$ <p><math>E'</math> – результирующий нелинейный сигнал (<math>R', G', B'</math>) в диапазоне <math>[0 : 1]</math>;  <math>F_D, E</math> – значения, указанные для функции оптооптического преобразования;  <math>m_1, m_2, c_1, c_2, c_3</math> – значения, указанные для функции электронно-оптического преобразования.</p>

Примечание 4а. – Ту же нелинейность (и ее инверсию) следует использовать при необходимости выполнить преобразование между нелинейным и линейным представлениями.

Примечание 4б. – В этой Рекомендации под яркостью одного цветового компонента ( $R_D, G_D, B_D$ ) подразумевается яркость эквивалентного ахроматического сигнала с одним и тем же значением всех трех цветовых компонентов.

Примечание 4с. – Отображение выходного сигнала датчика камеры на  $E$  может быть выбрано для достижения желаемой яркости сцены.

ТАБЛИЦА 5

### Эталонные нелинейные функции преобразования системы с гибридной гамма-логарифмической коррекцией (HLG)

Параметр	Значения
Входной сигнал HLG функции ОETF	Линейная яркость объекта съемки. ОETF преобразует относительную линейную яркость объекта съемки в нелинейное значение сигнала
Эталонная функция ОETF для HLG <sup>5a</sup>	$E' = \text{OETF}[E] = \begin{cases} \sqrt{3E} & 0 \leq E \leq 1/12; \\ a \cdot \ln(12E - b) + c, & 1/12 < E \leq 1, \end{cases}$ <p>где:</p> <p><math>E</math> – сигнал для каждого компонента цвета <math>\{R_S, G_S, B_S\}</math>, пропорциональный линейной яркости объекта съемки, приведенный к диапазону <math>[0 : 1]^{5b}</math>;  <math>E'</math> – результирующий нелинейный сигнал <math>\{R', G', B'\}</math> в диапазоне <math>[0:1]</math>;  <math>a = 0,17883277, b = 1 - 4a, c = 0,5 - a \cdot \ln(4a)^{5c}</math></p>
Входной сигнал ООТФ для HLG	Линейная яркость объекта съемки ООТФ преобразует относительную линейную яркость объекта съемки в линейную яркость изображения



ТАБЛИЦА 5 (окончание)

Параметр	Значения
Эталонная функция OOTF для HLG <sup>5i</sup>	$F_D = \text{OOTF}[E] = \alpha Y_s^{\gamma-1} E$ $R_D = \alpha Y_s^{\gamma-1} R_S$ $G_D = \alpha Y_s^{\gamma-1} G_S$ $B_D = \alpha Y_s^{\gamma-1} B_S$ $Y_s = 0,2627R_S + 0,6780G_S + 0,0593B_S$ <p>где:</p> <p><math>F_D</math> – яркость отображаемого линейного компонента <math>\{R_D, G_D, B_D\}</math>, в кд/м<sup>2</sup> <sup>5d</sup>.</p> <p><math>E</math> – сигнал для каждого компонента цвета <math>\{R_S, G_S, B_S\}</math>, пропорциональный линейной яркости объекта съемки, нормализованный в диапазоне <math>[0 : 1]</math>;</p> <p><math>Y_s</math> – приведенная линейная яркость объекта съемки;</p> <p><math>\alpha</math> – переменная, обозначающая усиление пользователя, в кд/м<sup>2</sup>. Она представляет <math>L_W</math>, которая является номинальной пиковой яркостью изображения для ахроматических пикселей;</p> <p><math>\gamma</math> – значение гаммы системы. <math>\gamma = 1,2</math> при номинальной пиковой яркости изображения 1000 кд/м<sup>2</sup> <sup>5e,5f,5g</sup>.</p>
Входной сигнал HLG функции EOTF	<p>Кодированное значение нелинейного сигнала HLG.</p> <p>EOTF преобразует нелинейный сигнал HLG в яркость изображения</p>
Эталонная функция EOTF для HLG	$F_D = \text{EOTF}[\max(0, (1-\beta)E' + \beta)]$ $= \text{OOTF}[\text{OETF}^{-1}[\max(0, (1-\beta)E' + \beta)]]$ <p>где:</p> <p><math>F_D</math> – яркость отображаемого линейного компонента <math>\{R_D, G_D, \text{или } B_D\}</math> в кд/м<sup>2</sup>;</p> <p><math>E'</math> – нелинейный сигнал <math>\{R', G', B'\}</math>, как определено для эталонной функции OETF для HLG<sup>5h</sup>;</p> <p><math>\beta</math> – переменная, обозначающая повышение пользователем уровня черного; OOTF[ ] как определено для эталонной функции OOTF для HLG;</p> $\text{OETF}^{-1}[x] = \begin{cases} x^2/3 & 0 \leq x \leq 1/2 \\ \{\exp((x-c)/a) + b\}/12 & 1/2 < x \leq 1 \end{cases}$ <p>Значения параметров <math>a, b</math> и <math>c</math>, как определено для эталонной функции OETF для HLG;</p> <p>и:</p> $\beta = \sqrt{3(L_B / L_W)^{1/\gamma}}$ <p><math>L_W</math> – номинальная пиковая яркость изображения в кд/м<sup>2</sup> для ахроматических пикселей;</p> <p><math>L_B</math> – яркость изображения для черного цвета в кд/м<sup>2</sup>.</p>

Примечание 5a. – Для преобразования между нелинейным и линейным представлениями яркости объекта съемки используется инверсия этой нелинейности.

Примечание 5b. – Отображение выходного сигнала датчика камеры на  $E$  может быть выбрано для достижения желаемой яркости сцены

Примечание 5c. – Значения  $b$  и  $c$  рассчитаны для  $b = 0,28466892$ ,  $c = 0,55991073$ .

Примечание 5d. – В данной Рекомендации под яркостью одного цветового компонента ( $R_D, G_D, B_D$ ) подразумевается яркость эквивалентного ахроматического сигнала с одним и тем же значением всех трех цветовых компонентов.

Примечание 5e. – Эта функция EOTF применяет гамма-коррекцию к компоненту яркости сигнала, хотя некоторые устаревшие дисплеи могут применять гамма-коррекцию к отдельным компонентам цвета. Такие устаревшие дисплеи аппроксимируют эту эталонную OOTF.

Примечание 5f. – Для дисплеев с номинальной пиковой яркостью ( $L_W$ ) больше 1000 кд/м<sup>2</sup> или в которых эффективная номинальная пиковая яркость уменьшается с помощью регулировки контрастности, значение гаммы системы корректируется по приведенной ниже формуле<sup>2</sup> и может быть округлено до трех значащих цифр:

$$\gamma = 1,2 + 0,42 \text{Log}_{10}(L_W/1000).$$

Примечание 5g. – Для светлого фона и окружения значение гаммы системы можно уменьшить.

Примечание 5h. – В процессе производства значения сигнала, вероятно, будут превышать диапазон  $E' = [0,0 : 1,0]$ . Это обеспечивает запас на обработку и позволяет избежать ухудшения качества сигнала во время каскадной обработки. В процессе производства и обмена такие значения  $E'$  ниже 0,0 или выше 1,0 не должны усекаться.

Значения ниже 0,0 не должны усекаться на эталонных дисплеях (даже если они соответствуют отрицательной яркости) для обеспечения правильной настройки уровня черного сигнала ( $L_B$ ) с помощью тестовых сигналов PLUGE.

Примечание 5i. – Инверсия HLG OOTF вычисляется следующим образом:

$$R_S = \left( \frac{Y_D}{\alpha} \right)^{(1-\gamma)/\gamma} \frac{R_D}{\alpha}$$

$$G_S = \left( \frac{Y_D}{\alpha} \right)^{(1-\gamma)/\gamma} \frac{G_D}{\alpha}$$

$$B_S = \left( \frac{Y_D}{\alpha} \right)^{(1-\gamma)/\gamma} \frac{B_D}{\alpha}$$

$$Y_D = 0,2627R_D + 0,6780G_D + 0,0593B_D$$

Для целей обработки, когда фактический дисплей неизвестен, значение  $\alpha$  можно установить равным 1,0 кд/м<sup>2</sup>.

В таблицах 6 и 7 описаны различные представления сигнала яркости и цветоразностного сигнала, подходящие для цветовой субдискретизации и/или кодирования исходных сигналов. В таблицах широко используется формат непостоянной яркости (NCL), который считается форматом по умолчанию. Формат постоянной интенсивности (CI), который вводится в этой Рекомендации, не следует использовать для обмена программами без согласования со всеми сторонами.

ТАБЛИЦА 6

Формат сигнала<sup>ба</sup> с непостоянной яркостью  $Y'C'_B C'_R$

Параметр	Значения PQ	Значения HLG
Получение $R', G', B'$	$\{R', G', B'\} = \text{EOTF}^{-1}(F_D)$ , где $F_D = \{R_D, G_D, B_D\}$	$\{R', G', B'\} = \text{OETF}(E)$ , где $E = \{R_S, G_S, B_S\}$
Получение $Y'$	$Y' = 0,2627R' + 0,6780G' + 0,0593B'$	
Получение цветоразностных сигналов	$C'_B = \frac{B' - Y'}{1,8814}$ $C'_R = \frac{R' - Y'}{1,4746}$	

Примечание ба. – Для согласования с ранее применявшимися терминами используются символы  $Y'$ ,  $C'_B$  и  $C'_R$  со штрихом, что указывает на их происхождение от нелинейных  $Y$ ,  $B$  и  $R$ .

<sup>2</sup> Для применения, когда  $L_W$  выходит за пределы диапазона 400–2000 кд/м<sup>2</sup>, может использоваться формула  $\gamma = 1,2 * \kappa^{\text{Log}_2(L_W/1000)}$ , где  $\kappa = 1,111$ .

ТАБЛИЦА 7  
Формат сигнала с постоянной интенсивностью  $IC_T C_P$ <sup>7а, 7б</sup>

Параметр	Значения PQ	Значения HLG
Цветовое пространство $L, M, S$	$L = (1\ 688R + 2\ 146G + 262B)/4\ 096$ $M = (683R + 2\ 951G + 462B)/4\ 096$ $S = (99R + 309G + 3\ 688B)/4\ 096$	
Получение $L', M', S'$ <sup>7с</sup>	$\{L', M', S'\} = \text{EOTF}^{-1}(F_D),$ где $F_D = \{L_D, M_D, S_D\}$	$\{L', M', S'\} = \text{OETF}(E),$ где $E = \{L_S, M_S, S_S\}$
Получение $I$	$I = 0,5L' + 0,5M'$	
Получение цветоразностных сигналов	$C_T = (6\ 610L' - 13\ 613M' + 7\ 003S')/4\ 096$ $C_P = (17\ 933L' - 17\ 390M' + 543S')/4\ 096$	$C_T = (3\ 625L' - 7\ 465M' + 3\ 840S')/4\ 096$ $C_P = (9\ 500L' - 9\ 212M' - 288S')/4\ 096$

Примечание 7а. – Вновь введенные символы  $I, C_T$  и  $C_P$  не содержат штрихов для упрощения системы обозначений.

Примечание 7б. – Цвета ограниваются до треугольника, определяемого первичными цветами RGB из таблицы 2.

Примечание 7с. – Подстрочные знаки  $D$  и  $S$  означают соответственно яркость изображения и яркость объекта съемки.

ТАБЛИЦА 8  
Цветовая субдискретизация

Параметр	Значения		
Кодированный сигнал	$R', G', B',$ или $Y', C'_B, C'_R,$ или $I, C_T, C_P$		
Решетка дискретизации – $R', G', B', Y', I$	Ортогональная, с повторениями строк и кадров, решетки отсчетов совмещаются		
Решетка дискретизации – $C'_B, C'_R, C_T, C_P$	Ортогональная, с повторениями строк и кадров, решетки отсчетов совмещаются друг с другом. Первый отсчет (верхний слева) совмещается с первыми отсчетами $Y'$ или $I$		
	Система 4 : 4 : 4	Система 4 : 2 : 2	Система 4 : 2 : 0
	Каждая решетка имеет такое же количество горизонтальных отсчетов, что и у компонента $Y'$ или $I$	Осуществляется горизонтальная субдискретизация с коэффициентом 2 по отношению к компоненту $Y'$ или $I$	Осуществляется горизонтальная и вертикальная субдискретизация с коэффициентом 2 по отношению к компоненту $Y'$ или $I$

В таблице 9 описаны два разных представления сигналов – узкое и полное. Представление с узким диапазоном широко используется и считается представлением по умолчанию. Полнодиапазонное представление, которое вводится в этой Рекомендации, не следует использовать для обмена программами без согласования со всеми сторонами.

ТАБЛИЦА 9

## Цифровые 10- и 12-разрядные целочисленные представления

Параметр	Значения			
Кодированный сигнал	$R', G', B'$ , или $Y', C'_B, C'_R$ , или $I, C_T, C_P$			
Формат кодирования	$n = 10, 12$ битов на компонент			
Квантование $R', G', B', Y', I$ (результатирующие значения, превышающие диапазон видеоданных, усекаются до диапазона видеоданных)	Узкий диапазон		Полный диапазон	
	$D = \text{Round} [(219 \times E' + 16) \times 2^{n-8}]$		$D = \text{Round} [(20^n - 1) \times E']$	
Квантование $C'_B, C'_R, C_T, C_P$ (результатирующие значения, превышающие диапазон видеоданных, усекаются до диапазона видеоданных)	$D = \text{Round} [(224 \times E' + 128) \times 2^{n-8}]$		$D = \text{Round} [(2^n - 1) \times E' + 2^{n-8}]$	
Уровни квантования	10-разрядное кодирование	12-разрядное кодирование	10-разрядное кодирование	12-разрядное кодирование
Уровень черного ( $R' = G' = B' = Y' = I = 0$ ) $DR', DG', DB', DY', DI$	64	256	0	0
Номинальный пиковый уровень ( $R' = G' = B' = Y' = I = 1$ ) $DR', DG', DB', DY', DI$	940	3 760	1 023	4 095
Ахроматический уровень ( $C'_B = C'_R = 0$ ) $DC'_B, DC'_R, DC_T, DC_P$	512	2 048	512	2 048
Номинальный пиковый уровень ( $C'_B = C'_R = +0,5$ ) $DC'_B, DC'_R, DC_T, DC_P$	960	3 840	1 023	4 095
Номинальный пиковый уровень ( $C'_B = C'_R = -0,5$ ) $DC'_B, DC'_R, DC_T, DC_P$	64	256	1	1
Диапазон видеоданных <sup>9a, 9b</sup>	4...1 019	16...4 079	0... 023	0...4 095

где:

$$\text{Round}(x) = \text{Sign}(x) \times \text{Floor}(|x| + 0,5);$$

$\text{Floor}(x)$  – наибольшее целое, меньшее или равное  $x$ ;

$$\text{Sign}(x) = \begin{cases} 1 & ; \quad x > 0 \\ 0 & ; \quad x = 0 \\ -1 & ; \quad x < 0. \end{cases}$$

Примечание 9a. – Сигналы с узким диапазоном могут уходить ниже уровня черного (субчерные) и превышать номинальный пиковый уровень (сверхбелые), но не должны выходить за пределы диапазона видеоданных.

Примечание 9b. – В некоторых интерфейсах цифровых изображений цифровые значения зарезервированы, например для информации о синхронизации, так что разрешенный диапазон видеосигналов этих интерфейсов уже полного диапазона. Отображение полноразмерных изображений на эти интерфейсы зависит от приложения.

В таблице 10 дано представление сигнала 16-разрядными числами с плавающей точкой. В настоящее время реальных интерфейсов для этого формата не существует. Ожидается, что этот формат первоначально найдет применение в процессах производства на основе файлов и в обмене программами.

ТАБЛИЦА 10

## Представление сигнала с плавающей точкой (FP)

Параметр	Значения
Представление сигнала	Линейный $R, G, B$
Кодирование сигнала	16-разрядными числами с плавающей точкой согласно стандарту IEEE 754-2008
Нормализация сигналов, относящихся к дисплею	$R = G = B = 1,0$ соответствует $1,0$ кд/м <sup>2</sup> на эталонном дисплее
Нормализация сигналов, относящихся к сцене	$R = G = B = 1,0$ соответствует максимальному рассеянию уровня белого

## Приложение 1 (информационное)

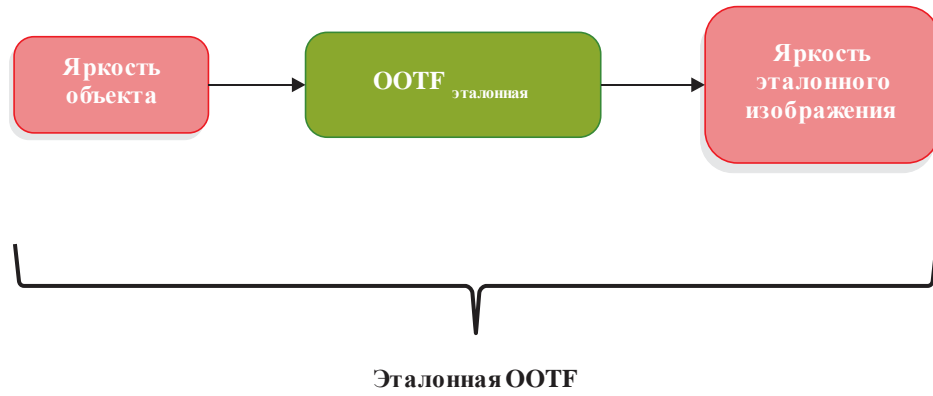
### Соотношение между OETF, EOTF и OOTF

В этой Рекомендации широко используются следующие термины:

- OETF – функция оптоэлектронного преобразования, преобразующая линейную яркость объекта съемки в видеосигнал, обычно внутри видеокамеры;
- EOTF – функция электронно-оптического преобразования, преобразующая видеосигнал в линейную яркость изображения;
- OOTF – функция оптооптического преобразования, которая применяет схему цветовоспроизведения.

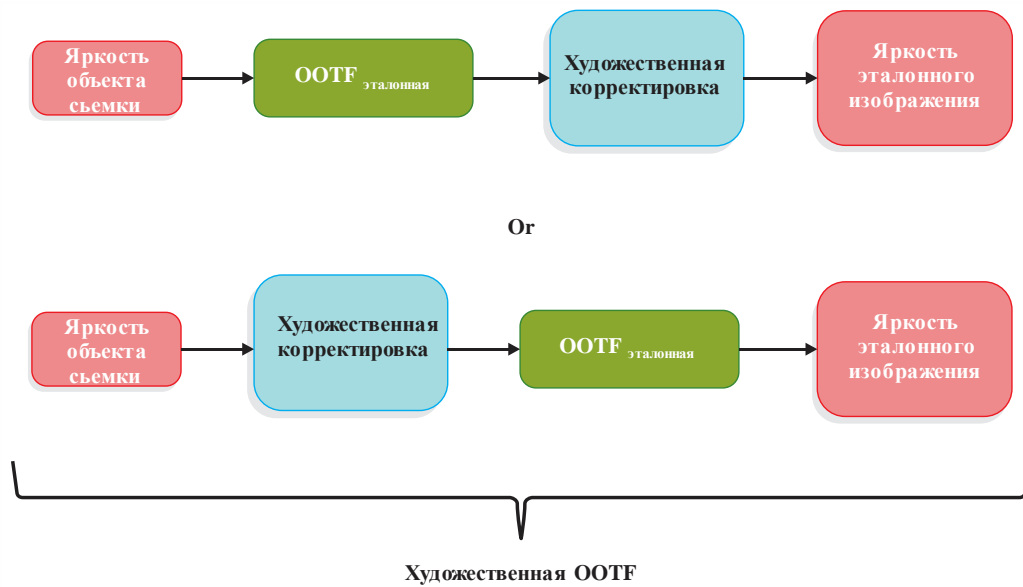
Эти функции связаны между собой, так что независимыми являются только две из трех. Если заданы любые две, третью можно рассчитать. В этом разделе объясняется, как они связаны между собой и как возникают в телевизионных системах.

В телевизионных системах яркость изображения не имеет линейной зависимости от яркости света, захваченного камерой. Вместо этого происходит полностью нелинейное преобразование OOTF. Эталонная OOTF компенсирует разницу цветового восприятия между средой камеры и средой экрана. Спецификация и применение эталонной OOTF позволяют осуществлять последовательное сквозное воспроизведение изображения, что имеет важное значение для производства ТВ-программ.



ВТ.2100-Ann1-01

Для улучшения изображения может применяться художественная корректировка. При этом OOTF изменяется так, что ее можно назвать художественной OOTF. Художественная корректировка может применяться до или после эталонной OOTF.



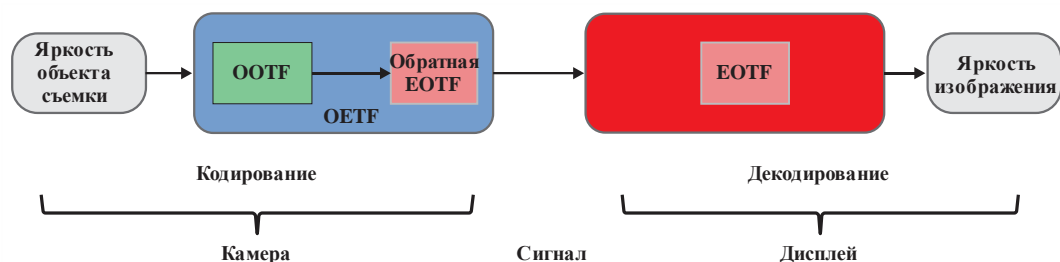
ВТ.2100-Ann1-02

В общем случае OOTF – это объединение OETF, художественной корректировки и EOTF.



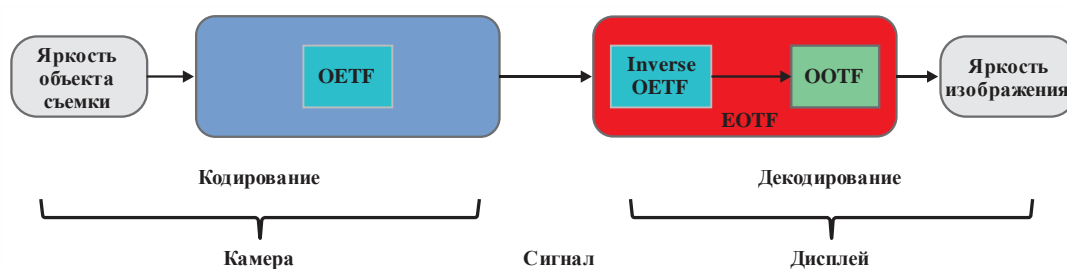
ВТ.2100-Ann1-03

Система PQ разработана по модели, приведенной ниже, когда считается, что OOTF выполняется в камере (или накладывается на процесс производства).



ВТ.2100-Ann1-04

Система HLG разработана по модели, приведенной ниже, когда считается, что OETF выполняется в дисплее.



ВТ.2100-Ann1-05

Независимы только два из трех нелинейных преобразований – OETF, EOTF и OOTF – в функциональной системе обозначений (где подстрочные знаки указывают на компоненты цвета):

$$\begin{aligned} \text{OOTF}_R(R, G, B) &= \text{EOTF}_R(\text{OETF}_R(R, G, B)); \\ \text{OOTF}_G(R, G, B) &= \text{EOTF}_G(\text{OETF}_G(R, G, B)); \\ \text{OOTF}_B(R, G, B) &= \text{EOTF}_B(\text{OETF}_B(R, G, B)). \end{aligned}$$

Будет нагляднее, если их объединение обозначить символом  $\otimes$ . Тогда получим следующие три соотношения между этими тремя нелинейными преобразованиями:

$$\begin{aligned} \text{OOTF} &= \text{OETF} \otimes \text{EOTF}; \\ \text{EOTF} &= \text{OETF}^{-1} \otimes \text{OOTF}; \\ \text{OETF} &= \text{OOTF} \otimes \text{EOTF}^{-1}; \\ \text{OOTF}^{-1} &= \text{EOTF}^{-1} \otimes \text{OETF}^{-1}; \\ \text{EOTF}^{-1} &= \text{OOTF}^{-1} \otimes \text{OETF}; \\ \text{OETF}^{-1} &= \text{EOTF} \otimes \text{OOTF}^{-1}. \end{aligned}$$

Подход для PQ определяется своей EOTF. OETF для PQ можно получить из OOTF с помощью третьей строки приведенного выше набора уравнений. Соответственно подход для HLG определяется своей OETF. EOTF для HLG можно получить из OOTF с помощью второй строки приведенного выше набора уравнений.

## Приложение 2 (информационное)

### Параметрическое представление функций электронно-оптического и оптоэлектронного преобразования

Настоящее Приложение в сочетании с соответствующим набором параметров облегчает реализацию эталонной функции оптоэлектронного преобразования (ОETF), а также эталонных функций электронно-оптического преобразования (ЕОТФ) из этой Рекомендации.

ЕОТФ может быть представлена уравнением (1):

$$L(V) = \left( \frac{c - (V - m)st}{V - m - s} \right)^{1/n}, \quad (1)$$

где:

$V$ : нелинейное значение цвета;

$L$ : соответствующее линейное значение цвета.

Набор параметров  $\{s, t, c, n, m\}$  можно установить согласно требуемому приложению.

ОETF может быть представлена уравнением (2):

$$V(L) = \frac{sL^n + c}{L^n + st} + m. \quad (2)$$

Следует отметить, что если параметрам  $s, t, c, n$  и  $m$  в уравнениях (1) и (2) присвоены идентичные значения, то  $L(V)$  и  $V(L)$  являются математической инверсией друг друга.

В некоторых приложениях полезно нормализовать  $V$  в уравнениях (1) и (2) в соответствии с уравнением (3):

$$\hat{V} = \frac{V - p}{k} + m, \quad (3)$$

где:

$V$ : нелинейное значение цвета;

$\hat{V}$ : нормализованное нелинейное значение цвета, заменяющее  $V$  в уравнениях (1) и (2).

Параметры  $k$  и  $p$  можно установить в соответствии с требуемым приложением.

В некоторых приложениях полезно нормализовать  $L$  в уравнениях (1) и (2) в соответствии с уравнением (4):

$$\hat{L} = \frac{L - b}{a}, \quad (4)$$

где:

$L$ : линейное значение цвета;

$\hat{L}$ : нормализованное линейное значение цвета, заменяющее  $L$  в уравнениях (1) и (2).

Параметры  $a$  и  $b$  можно установить в соответствии с требуемым приложением.

Используя эти уравнения, можно создать фактическую реализацию, задавая значения каждого из параметров. Например, может потребоваться воспроизведение линейного нормированного сигнала, и в этом случае параметры уравнения (3) принимают значения:  $p = m = 0$  и  $k = 1$ . Тогда параметры уравнения (4) будут:  $a = 1$  и  $b = 0$ . Пример пары ОETF и ЕОТФ со значением гаммы системы 1,0, служащей отправной точкой, может быть реализован с использованием уравнений (1) и (2) с параметрами  $s = 1, t = m = 0,2701, c = -0,0729, n = 0,4623$ .